

В. М. КУЗЬМИЧЕВ, д-р физ.-мат. наук,  
В. П. БАЛКАШИН, А. В. ЗОЛОТАЙКИН

### БОЛОМЕТРИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВЫНУЖДЕННОГО КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОБМЕНА

Измеритель мощности лазерного излучения [1] в последние годы находит широкое применение в связи с использованием технологических лазеров в промышленности. Усовершенствование измерителя было направлено на уменьшение влияния изменений температуры окружающей среды и нижнего предела измерений. [2—4]. Однако в работе [2] рассмотрен вектор скорости воздушного потока, направленный к одним болометрическим элементам продольно относительно их оси, а к другим — поперечно, что приводит к различной чувствительности болометров и к увеличению поляризационной погрешности прибора. В работе [3] показано использование одинарной вращающейся решетки, элементы ее имеют различную линейную скорость и соответственно различную чувствительность. В работе [4] описано излучение, которое прерывается вращающимся зеркальным сектором и направляется в измеритель, что вносит значительные потери в основной лучок.

Задачей настоящего исследования является устранение отмеченных недостатков и дальнейшее совершенствование решетчатого болометрического измерителя. Разработанный измеритель изображен на рис. 1. Приемный элемент — это двойная болометрическая решетка, в которой элементы решетки 1 перпендикулярны к элементам другой решетки 4 и все они соединены последовательно. Размеры решеток  $70 \times 70$  мм, расстояние между ними 10 мм, период решеток составляет 4 мм. Болометрическая решетка выполнена из платинового микропровода, диаметром 12 мкм. Болометрические элементы обдуваются воздушным потоком 3 со скоростью 10 м/с, направленной параллельно плоскостям решеток и под углом  $45^\circ$  к осям всех болометров. Воз-

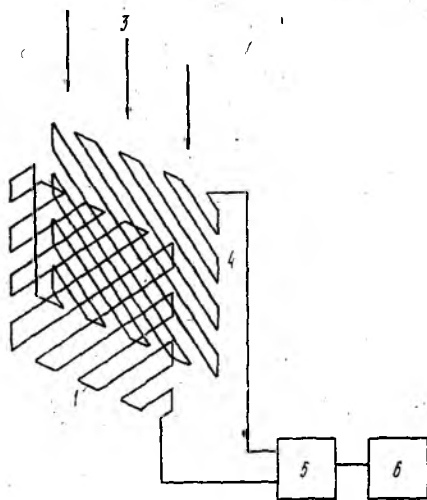


Рис. 1

дуется воздушным потоком 3 со скоростью 10 м/с, направленной параллельно плоскостям решеток и под углом  $45^\circ$  к осям всех болометров. Воз-

душный поток с равномерной скоростью в объеме расположения элементов решеток создается турбовентилятором, имеющим на входе фильтр. Измеряемое излучение 2 направляется перпендикулярно плоскости решетки. Изменение сопротивления решетки под действием излучения регистрируется мостовой схемой 5 с цифровым индикатором 6. Сигнал с каждой решетки с погреш-

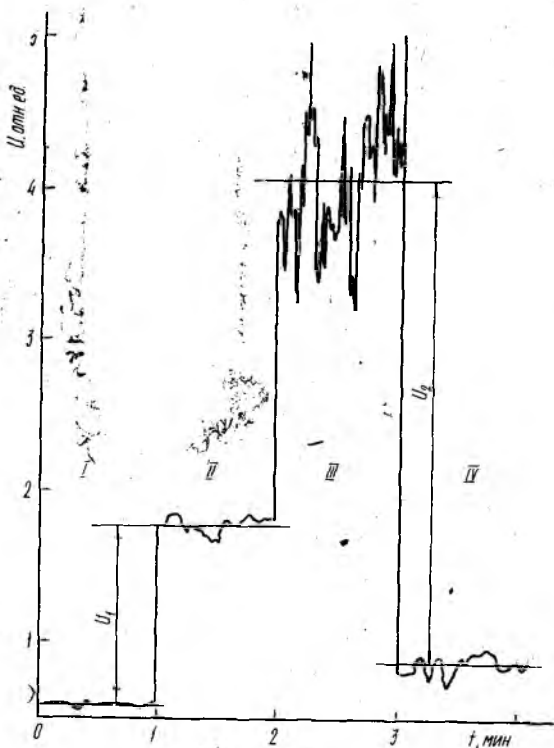


Рис. 2

ностью около 1 % пропорционален интегралу от распределения мощности в поперечном сечении пучка излучения с диаметром, превышающим 40 мм, а двойная решетка обеспечивает независимость приращения сопротивления от направления поляризации излучения.

Обдув проволочного болометрического элемента стационарным воздушным потоком позволяет существенно снизить шумовую составляющую полезного сигнала, возникающую за счет флуктуаций коэффициента теплообмена болометра с внешней средой. Этот эффект хорошо виден на рис. 2, где приведена запись сигнала с измерителя в двух режимах: с обдувом приемного элемента (I, II) и без обдува (III, IV). С целью исключения флуктуаций мощности источника излучения на результаты измерений нами был использован метод замещения. Разогрев приемного

элемента до температуры, соответствующей воздействию на приемник излучения с заданной мощностью, осуществлялся постоянным током, продуваемым через болометрическую решетку.

На участке I записи мостовая схема сбалансирована при токе питания моста  $I_0$ . На участке II ток питания моста увеличивался до некоторого значения  $I_1$ , который вызывал нагрев приемного элемента на 4 К, что эквивалентно воздействию излучения мощностью до 1 кВт. Амплитуда полезного сигнала равна  $U_1$  при среднеквадратичной амплитуде шумов  $U_{ш1}$ . После этого обдув выключался и вследствие уменьшения коэффициента теплообмена температура болометров увеличилась до 10 К. Величина полезного сигнала  $U_2$  (участок III) возросла за счет увеличения приращения сопротивления болометров, а среднеквадратичная амплитуда шумов  $U_{ш2}$  — за счет увеличения амплитуды флуктуаций коэффициента теплообмена. На участке IV ток питания моста уменьшался до первоначального значения  $I_0$ . Несовпадение нулевых сигналов при обдуве и его отсутствия объясняется различными температурами болометрических элементов за счет изменения их коэффициента теплообмена с внешней средой. Чувствительность мостовой схемы в обоих режимах работы сохранялась постоянной.

Соотношение сигнал-шум при обдуве приемного элемента воздушным потоком составляло 23,1, без обдува — 7,1. Таким образом, применение обдува приемного болометрического элемента позволяет расширить динамический диапазон измерений как в сторону нижнего предела за счет улучшения соотношения сигнал-шум, так и в сторону верхнего предела за счет увеличения лучевой стойкости болометров в результате повышения их коэффициента теплообмена, которое пропорционально отношению  $U_2/U_1=2,8$  раз.

По методике, изложенной в работе [5], исследовалась характеристика преобразования приемного элемента измерителя в двух режимах конвективного теплообмена болометров от уровня мощности излучения лазера. В условиях вынужденной конвекции воздуха, т. е. при обдуве, чувствительность болометрического преобразователя составляла 36 Ом/кВт, при естественной конвекции — 100 Ом/кВт.

Разработанный измеритель использовался для контроля мощности излучения технологического лазера ЛТ-1 и показал надежность при работе в цеховых условиях. Технические характеристики измерителя: диапазон измеряемой мощности 0,1—5,0 кВт, диаметр входной апертуры — 65 мм, постоянная времени — 5 мс, основная погрешность — 10 %.

Список литературы: 1. Кузьмичев В. М., Перепечай М. П. Малоинерционный измеритель мощности излучения на двуокиси углерода // Квантовая электроника. 1974. Т. 1, № 11. С. 2407—2410. 2. А. с. 588833 СССР, МКИ<sup>2</sup> ГО1 1/24, Н01 3/00. Измеритель излучения ОКГ/В. И. Задорожный, В. М. Муругов, В. В. Понкратов, В. А. Хрусталеv // Открытия. Изобретения. 1979. № 36.

С. 151—152. 3. Ситенков Ю. Л., Хохлов Ю. М. Измеритель проходящей мощности для технологического CO<sub>2</sub>-лазера//Приборы и техника эксперимента. 1984. № 5. С. 172—174. 4. Скрипченко А. И., Сурков А. В. Проходной измеритель мощности излучения технологических CO<sub>2</sub>-лазеров//Свароч. пр-во. М., 1984. № 3. С. 36—38. 5. Золотайкин А. В., Кузьмичев В. М., Балкашин В. П. Боллометрический приемник лазерного излучения//Квантовая электрон. 1983. Т. 10. С. 1260—1261.

Поступила в редакцию 22.05.89

УДК 621.382

АШАНИН В. С., канд. физ.-мат. наук,  
МАЛОФЕЙ О. П., канд. техн. наук,  
СТЕПАНОВ А. А., канд. физ.-мат. наук

### ФОРМИРОВАНИЕ УЧАСТКОВ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ДИОДОВ ГАННА В УСЛОВИЯХ УДАРНОЙ ИОНИЗАЦИИ

В работе [1] были сформулированы основные принципы расчета ударной ионизации в указанных в названии объектах. Для правильного понимания этого явления необходимо подходить к расчету с позиций разделения электронов в домене на быстрые и медленные. Причем под быстрыми понимаются электроны, имеющие скорость  $V_{n_1}$ , превышающую скорость домена  $V_D$ , а под медленными — обладающие скоростями  $V_{n_2} < V_D$ .

Обобщим модель расчета в [1], считая, что быстрые генерируют в сильном поле и медленные электроны. Кроме того, будем считать, что коэффициент ударной ионизации  $\alpha$  зависит от координаты  $X$ .

Тогда вместо уравнения ([1, п. 21]) получим

$$\frac{S_0 d^2 I_2}{dx^2} - \left[ \frac{S_2}{S_1} (\alpha_1 - \beta_1) + \frac{S_2}{\alpha_2 + \beta_1} \frac{d\alpha_2}{dx} - \beta_2 \right] \frac{dI_2}{dx} - \left[ \frac{\beta_2 (\alpha_1 + \alpha_2)}{S_1} + \frac{\beta_2}{\alpha_2 + \beta_1} \frac{d\alpha_2}{dx} \right] I_2 = 0.$$

Здесь  $\beta_1, \beta_2$  — коэффициенты, характеризующие интенсивность обмена электронами между двумя долинами полупроводника;  $\alpha_1, \alpha_2$  — характеризуют величину умножения носителей в доменах.

Обозначения  $\beta_i, \alpha_i$  отличаются от указанных в работе [1] тем, что разделены на соответствующие скорости:

$$S_1 = 1 - \frac{V_D}{V_{n_1}}, \quad S_2 = 1 - \frac{V_D}{V_{n_2}}.$$

Нетрудно видеть, что учет зависимости  $\alpha_2$  — коэффициента ударной ионизации, характеризующего генерацию быстрыми